

Zusammenfassung und Bewertung ausgewählter Studien

Im Zeitraum von Mitte Oktober 2021 bis Mitte Januar 2022 wurden 123 neue Publikationen identifiziert, von denen acht von BERENIS vertieft diskutiert wurden. Vier davon wurden gemäss den Auswahlkriterien als besonders relevant und somit zur Bewertung ausgewählt und werden im Folgenden zusammengefasst.

1) Experimentelle Tier- und Zellstudien

Kombinationseffekt von Umwelteinflüssen: HF-EMF und Hitzeakklimatisierung und Wirkungen auf Angst und Depression unter Berücksichtigung der Darm-Gehirn-Achse (Luo et al. 2021)

Die Darmflora beeinflusst die Energiehomöostase, den Metabolismus, das Blut-Glukose-Gleichgewicht und die Immunantwort. Noch bedeutender ist ihre Rolle bei der Erhaltung physiologischer Funktionen im Gehirn. Sie trägt zu Verhalten, Gehirnentwicklung, Altern sowie zur Entstehung oder zum Krankheitsbild neurodegenerativer Erkrankungen bei. So kann eine Veränderung der Darmflora zu einer Veränderung der Mikroglia, also des Abwehrsystems, im Gehirn führen.

In der subchronischen *in vivo* Studie von Luo *et al.* (2021) wurden männliche Mäuse des Stammes C57BL/6J in vier Gruppen unterteilt, mit und ohne Hitzeakklimatisierung (35°C oder 28°C) in den ersten 28 Tagen gefolgt von 5 Wochen HF-EMF-Exposition oder Scheinexposition. Dabei wurde die Wechselwirkung zwischen der Darm-Gehirn-Achse bei Mäusen unter HF-EMF-Einfluss (2450 MHz, 2 µs/Puls, 500 Pulse/Sekunde, 4 Stunden/Tag; Ganzkörper-SAR 2.5 W/kg) und Hitzeakklimatisierung (35°C anstatt 28°C) untersucht. Anhand von Verhaltenstests wurden Wirkungen wie Angst und Depression analysiert. Zudem wurde die Darmflora mittels Sequenzierung bestimmt, sowie Serumparameter wie beispielsweise Tryptophan und Phenylalanin, und auch Cholesterole und Fruktose, die in anderen Studien nachweislich mit Depression korreliert waren.

Die Verhaltenstests ergaben keine Hinweise auf eine Beeinflussung des Angstverhaltens bei beiden Zeitpunkten, während die Tiere nach 5-wöchiger HF-EMF-Exposition vermehrt Anzeichen von Depression zeigten. Gleichzeitig waren die Genaktivitäten verschiedener Bakterien verändert, was bei gleichzeitiger Hitzeakklimatisierung nicht der Fall war. Die Hitzeakklimatisierung verbesserte ausserdem einige der oben genannten Serumparameter. Die Analyse der Signalwege ergab eine Interaktion mit dem Metabolismus von Tryptophan und Pyrimidin sowie der Aminosäuren-Biosynthese. Die Autoren schlussfolgern, dass die beschriebene HF-EMF-Exposition zu depressionsähnlichen neurologischen Verhaltensstörungen führt, die möglicherweise auf ein Ungleichgewicht der Darmflora zurückzuführen sind. Zudem ist die Darmflora an den Wirkungen der Hitzeakklimatisierung beteiligt.

Auch wenn es Hinweise auf die Beteiligung der Darm-Hirn-Achse auf das vermehrte Auftreten von Depression im Zusammenhang mit einer Veränderung der Darmflora (die durch Hitzeakklimatisierung aufgehoben werden konnte) gibt, kann aufgrund der hier vorliegenden Ergebnisse ein kausaler Zusammenhang nicht abschliessend festgestellt werden, dazu sind weiterführende Untersuchungen notwendig. Wie die Autoren selbst sagen, fehlen dazu die Bestimmung der Messparameter zu mehreren Zeitpunkten und vor allem Hemmung der relevanten Bakterien mittels Antibiotika und/oder fäkaler Transplantation dieser Darmflora.

2) Epidemiologische Studien

Gehirntumor-Risiko im Alter vom 10 bis 24 Jahren und Nutzung von Mobil- und Schnurlostelefonen (Castaño-Vinyals et al. 2022)

In einer grossen und aufwendig konzipierten Fall-Kontroll-Studie («MOBI-Kids») wurde anhand von Daten aus 14 Ländern¹ untersucht, ob die Nutzung von Mobil- und Schnurlostelefonen und die daraus resultierende Exposition mit HF-EMF und NF-MF das Risiko von Hirntumoren bei jungen Menschen erhöht (Castaño-Vinyals *et al.* 2022). Das Studienkollektiv setzte sich zusammen aus 899 Menschen im Alter von 10 bis 24 Jahren, bei denen zwischen 2010 und 2015 ein Hirntumor diagnostiziert wurde, und 1'910 Kontrollpersonen im selben Alter und aus derselben Region, bei denen zum entsprechenden Zeitpunkt eine Blinddarmoperation durchgeführt wurde. Daten zur Nutzung von Mobil- und Schnurlostelefonen sowie anderen relevanten Faktoren wurden rückwirkend mit den Betroffenen und/oder den Eltern anhand von Fragebogen-Interviews erhoben. Zusätzlich wurde eine EMF-Dosisberechnung durchgeführt. Die Datenanalyse erfolgte getrennt in drei Altersgruppen (10 bis 14, 15-19 und 20 bis 24 Jahre), um den altersbedingten Unterschieden in der Mobilfunknutzung Rechnung zu tragen.

Gemäss den Hauptanalysen korrelierte eine zunehmende Nutzung von Mobil- und Schnurlostelefonen mit einer Abnahme des Risikos für Hirntumoren, insbesondere bei der Gruppe der 15-19-jährigen. Auch wenn die Analyse mit der kumulierten NF- oder HF-EMF-Dosis am Ort des Tumors statt mit der Nutzung durchgeführt wurde, ergaben sich ebenfalls abnehmende Risiken bei zunehmender Dosis. Weitergehende Analysen deuten jedoch darauf hin, dass dieser «schützende» Effekt nicht kausal ist. Wurden die Nutzungsdaten innerhalb von fünf Jahren vor der Diagnose nicht berücksichtigt und nur Angaben der Studienteilnehmenden, statt derjenigen ihrer Eltern, in Betracht gezogen, war der «schützende» Effekt statistisch auch nicht mehr feststellbar und es resultierte insgesamt kein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Hirntumoren und Mobil- sowie Schnurlostelefonnutzung.

Die Autorinnen und Autoren schlussfolgern, dass die Studie keinen Anhaltspunkt für einen kausalen Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobil- und Schnurlostelefonen und dem Auftreten von Gehirntumoren in der untersuchten Altersgruppe liefert, auch wenn ein geringes Restrisiko nicht vollständig auszuschliessen sei. Dass scheinbar «schützende» Effekte beobachtet wurden, liege zum einen an den ungenauen Nutzungsangaben durch die Eltern und zum anderen daran, dass Symptome vor der Diagnose zu einer verminderten Mobil- und Schnurlostelefonnutzung geführt hätten und nicht umgekehrt (umgekehrte Kausalität).

Die von öffentlichen Geldern der beteiligten Länder und der EU finanzierte MOBI-Kids-Studie ist in dieser Altersgruppe die bisher grösste Studie zum Thema. Weitere Stärken der Studie sind beispielsweise, dass zahlreiche Sensitivitätsanalysen durchgeführt wurden, und dass sowohl hoch- als auch niederfrequente Strahlung eingeschlossen wurde. Fall-Kontroll-Studien beruhen jedoch auf rückwirkend gesammelten Informationen zur Exposition, welche mit Unsicherheiten behaftet sind. Konkret scheinen in diesem Fall besonders die Eltern von gesunden 15-19-Jährigen die Mobilfunknutzung im Unterschied zu den Eltern von kranken Kindern zu überschätzen, was zu den paradoxen «schützenden» Effekten geführt hat. Fall-Kontroll-Studien können kleine Risiken aufgrund der methodischen Unzulänglichkeiten nicht robust nachweisen. Substanzielle Hirntumorrisiken in dieser Altersklasse durch die Mobiltelefonnutzung müssten mittlerweile allerdings auch anhand von höheren Fallzahlen in Krebsregisterdaten erkennbar sein. In dieser Altersgruppe ist jedoch generell seit

¹ Australien, Deutschland, Frankreich, Griechenland, Indien, Israel, Italien, Japan, Kanada, Korea, Niederlande, Österreich, Neuseeland, Spanien

der Einführung von Mobiltelefonen keine verstärkte Zunahme der Hirntumoren feststellbar. Insgesamt stützt die Studie Ergebnisse von anderen epidemiologischen Studien und Zeitreihenanalysen von Krebsregistern, dass die Strahlung von Mobiltelefonen bisher nicht zu einem substanzial erhöhten Risiko für Hirntumoren führt.

3) Experimentelle Humanstudien

Hirnaktivität im Wachzustand und GSM-Exposition (Wallace et al. 2021a,b)

In den meisten bisherigen Studien zu HF-EMF-Exposition und Gehirnaktivität war die spontane Alpha-Aktivität verändert. Es wurden sowohl Zunahmen wie auch Abnahmen der Alpha-Aktivität berichtet. Zur Heterogenität der Ergebnisse trägt bei, dass es auch Studien ohne Effekte gibt. Ursachen für diese Heterogenität können vielfältig sein: z.B. Unterschiede in der Methodik, in den Versuchsprotokollen, in den angewendeten Frequenzen und Intensitäten, sowie im untersuchten Kollektiv.

Wallace *et al.* (2021a,b) untersuchten 32 junge und gesunde Studienteilnehmende (rechtshändig, 17 Frauen). Diese wurden einem HF-EMF (GSM, 900 MHz, 217 Hz Modulation, 0.49 W/kg max. SAR (gemittelt über 10g Körpergewebe)) oder einer Scheinexposition für 25.5 Minuten ausgesetzt. Ein Mobiltelefon (aktiv oder sham) wurde mit einer Schlauchbinde am linken Ohr platziert (doppelblind, randomisiert, counter-balanced, crossover). Das Messprotokoll bestand aus einer Baseline-, Expositions-, und Nachexpositionsphase. Das Elektroenzephalogramm (EEG) und das Elektrokardiogramm (EKG) wurden durchgängig gemessen. In der Baseline- und Nachexpositionsphase wurde zusätzlich ein Magnetenzephalogramm (MEG) registriert. Das EEG erfasst die elektrische Komponente der Hirnaktivität und das MEG deren magnetische Komponente. Zusätzlich wurden vier Speichelproben genommen (am Anfang, vor und nach der Exposition, und am Schluss) um auf mögliche Stresseffekte zu testen.

In einer ersten Publikation (32 Teilnehmende analysiert; Wallace *et al.* 2021a) wurden das MEG und die Stressfaktoren analysiert. Im MEG wurde der Effekt der Exposition auf die Alpha-Aktivität (8-12 Hz) nach der Exposition untersucht. Die Ergebnisse im Sensor- und Quellen-Raum (Abschätzung woher in der Grosshirnrinde (Cortex) die Aktivität herrührt) zeigten eine signifikante Abnahme der MEG-Alpha-Aktivität nach der GSM-Exposition, mit unterschiedlichen beteiligten kortikalen Regionen je nachdem ob die Augen offen oder geschlossen waren, wahrscheinlich aufgrund des unterschiedlichen Aufmerksamkeitsniveaus bei offenen oder geschlossenen Augen. Die Messungen der Herzfrequenz, der Herzfrequenzvariabilität (HRV), der Biomarker für Stress und die Koffeinanalyse zeigten keine Veränderungen und bedeuten, dass die Ergebnisse kaum durch Störfaktoren wie Stressverhalten oder Kaffeekonsum vor dem Experiment beeinflusst wurden.

In einer zweiten Publikation (21 Teilnehmende analysiert, davon 10 Frauen, Wallace *et al.* 2021b) lag der Fokus auf dem EEG. EEG-Daten (Alpha-Aktivität) der Baseline- und Expositionsphase wurden analysiert. Alpha-Aktivität im Ruhezustand (Augen offen oder geschlossen) war während der GSM-Exposition im Vergleich zur Kontrolle nicht verändert.

Die beiden Arbeiten von Wallace *et al.* zeigten sowohl eine Abnahme als auch keinen Effekt. Allerdings ist zu beachten, dass die Abnahme im MEG nach der Exposition auftrat, und kein Effekt im EEG während der Exposition gefunden wurde. Warum das EEG nicht auch nach der Exposition analysiert wurde, ist unklar.

4) Weitere Publikationen zur Information: Übersichtsarbeiten

WHO Reviews

Zurzeit werden im Auftrag der WHO eine Reihe von systematischen Reviews bezüglich gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF-Exposition durchgeführt. Während die Reviews selbst noch in Arbeit sind, wurden die entsprechenden Protokolle mittlerweile grösstenteils veröffentlicht (Stand August 2022: 10 von 11 Protokollen veröffentlicht).²

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission

Die Strahlenschutzkommission (Deutschland) hat eine Stellungnahme veröffentlicht. Diese nimmt Bezug auf elektromagnetische Felder des Mobilfunks im Zuge des aktuellen 5G-Netzausbaus, insbesondere auf technische Aspekte und biologische Wirkungen im Frequenzbereich bis ca. 7 GHz.³

Literaturangaben

Castaño-Vinyals G, Sadetzki S, Vermeulen R, Momoli F, Kundi M, Merletti F, Maslanyj M, Calderon C, Wiart J, Lee AK, Taki M, Sim M, Armstrong B, Benke G, Schattner R, Hutter HP, Krewski D, Mohipp C, Ritvo P, Spinelli J, Lacour B, Remen T, Radon K, Weinmann T, Petridou ET, Moschovi M, Pourtsidis A, Oikonomou K, Kanavidis P, Bouka E, Dikshit R, Nagrani R, Chetrit A, Bruchim R, Maule M, Migliore E, Filippini G, Miligi L, Mattioli S, Kojimahara N, Yamaguchi N, Ha M, Choi K, Kromhout H, Goedhart G, 't Mannelje A, Eng A, Langer CE, Alguacil J, Aragonés N, Morales-Suárez-Varela M, Badia F, Albert A, Carretero G, Cardis E (2021): **Wireless phone use in childhood and adolescence and neuroepithelial brain tumours: Results from the international MOBI-Kids study**. Environ Int. 2021 Dec 30;160:107069. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34974237/>

Luo X, Huang X, Luo Z, Wang Z, He G, Tan Y, Zhang B, Zhou H, Li P, Shen T, Yu X, Yang X (2021): **Electromagnetic field exposure-induced depression features could be alleviated by heat acclimation based on remodeling the gut microbiota**. Ecotoxicol Environ Saf. 2021 Nov 15;228:112980. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34794024/>

Wallace J, Yahia-Cherif L, Gitton C, Hugueville L, Lemaréchal JD, Selmaoui B (2021a): **Modulation of magnetoencephalography alpha band activity by radiofrequency electromagnetic field depicted in sensor and source space**. Sci Rep. 2021 Dec 3;11(1):23403. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34862418/>

Wallace J, Yahia-Cherif L, Gitton C, Hugueville L, Lemaréchal JD, Selmaoui B (2021b): **Human resting-state EEG and radiofrequency GSM mobile phone exposure: the impact of the individual alpha frequency**. Int J Radiat Biol. 2021 Dec 6:1-10. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34797205/>

² <https://www.sciencedirect.com/journal/environment-international/special-issue/109J1SL7CXT>

³ SSK (2021): **Elektromagnetische Felder des Mobilfunks im Zuge des aktuellen 5G-Netzausbaus – Technische Aspekte und biologische Wirkungen im unteren Frequenzbereich (FR1, bis ca. 7 GHz)**. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet in der 317. Sitzung der Strahlenschutzkommission (SSK) am 09./10. Dezember 2021.

https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2021/2021-12-10_Stgn_5G_Mobilfunk.html

Kontakt

Dr. Stefan Dongus
Sekretariat BERENIS
Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut
Department Epidemiology and Public Health
Environmental Exposures and Health Unit
Kreuzstrasse 2, 4123 Allschwil
Tel: +41 61 284 8111
E-Mail: stefan.dongus@swisstph.ch

Weitere Informationen:

[Beratende Expertengruppe nicht-ionisierende Strahlung \(BERENIS\)](#)

[Abkürzungsverzeichnis \(als pdf\)](#)